



Identificación de áreas quemadas usando índices espectrales e imágenes Sentinel 2 en Mayarí, Holguín

Identification of Burned Areas Using Spectral Indexes and Sentinel 2 Images in Mayarí, Holguín

 Eldo Yoel Flores-del Castillo¹, Edislianys Salabarría-Bernal² and  Laura Estefani Hernández-Valle¹

¹Universidad de Sancti Spiritus, “José Martí Pérez”, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agronomía, Sancti Spiritus, Cuba. E-mail: lauraestefanih@gmail.com

²Grupo Empresarial Geocuba Villa Clara-Sancti Spiritus, Cuba. E-mail: edislianys@gmail.com

*Autor para correspondencia: Eldo Yoel Flores-del Castillo, e-mail: yoelfl414@gmail.com

RESUMEN: La presente investigación busca identificar las áreas quemadas dentro del municipio de Mayarí en el Parque Nacional Mensura-Piloto a partir de imágenes satelitales *Sentinel 2*, obtenidas de forma gratuita a través del portal *Browser Data Space de Copernicus*. Anualmente durante la época de sequía esta municipalidad se ve afectada por el fuego, causado principalmente por acción antrópica y trópicas. En ocasiones este fenómeno se sale de control presentándose grandes incendios que afectan de manera grave el ecosistema de la región. El índice espectral NBR es utilizado con el fin de resaltar las zonas afectadas por incendios y tipificar la severidad del evento, mostrando como resultado una clasificación de acuerdo con un rango de valores clave en orden continuo cualitativo ofrecidos por los umbrales de severidad de *Key & Benson* (100 / 270 / 440 / 660 / Max). Los sitios de guardabosques informaron un total de Área Quemada de 3 612 ha, clasificadas entre zonas de quema con gravedad alta, moderada y baja, que corresponde a un 2,77% del área total del municipio, una cifra preocupante, que debe alertar a los funcionarios gubernamentales del municipio encargados de la Gestión del Riesgo de Desastres, para evaluar daños y analizar los respectivos procesos de recuperación de la cobertura vegetal y el ecosistema en forma eficaz.

Palabras clave: incendios forestales, Mayarí, imagen satelital, NBR, severidad.

ABSTRACT: This research aims to identify burned areas within the municipality of Mayarí in the Mensura-Piloto National Park from Sentinel 2 satellite images, obtained free of charge through the Browser Copernicus Data Space portal. Annually during the dry season this municipality is affected by fire, caused mainly by anthropogenic and tropical action. Sometimes this phenomenon gets out of control, causing large fires that seriously affect the ecosystem of the region. The NBR spectral index is used to highlight the areas affected by fires and to classify the severity of the event, showing as a result a classification according to a range of key values in qualitative continuous order offered by the Key & Benson severity thresholds (100 / 270 / 440 / 660 / Max). The ranger sites reported a total of 3 612 ha of Burned Area, classified between burn zones with high, moderate and low severity, which corresponds to 2,77% of the total area of the municipality, a worrying figure, which should alert the municipal government officials in charge of Disaster Risk Management, to assess damages and analyze the respective recovery processes of vegetation cover and the ecosystem in an effective manner.

Keywords: Forest Fires, Mayarí, Satellite Image, NBR, Severity.

INTRODUCCIÓN

El fuego también tiene historia y se cataloga como una fuerza evolutiva de la naturaleza, ha sido aplicado en los sistemas agrícolas de las culturas americanas prehispánicas, las quemadas han sido una práctica ancestral por más de 10 000 años, la cual limita la sucesión vegetal y por consiguiente la presencia de formaciones boscosas, y mantiene el paisaje de sabana como lo conocemos (Huertas et al., 2019).

Sin embargo, los cambios de uso del suelo ocurridos durante los tres últimos siglos en los distintos continentes, conjugados con los cambios climáticos de carácter global y regional, han conllevado a la alteración de los patrones naturales de ocurrencia de este fenómeno en la mayor parte de los ecosistemas con coberturas vegetales transformándolos, disminuyendo su biodiversidad y comprometiendo su capacidad productiva (Parra et al., 2011).

Recibido: 28/02/2025

Aceptado: 08/09/2025

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Contribuciones de autor: Conceptualización: E.Y. Flores. Curación de datos: E.Y. Flores, E. Salabarría. Análisis formal: E.Y. Flores, E. Salabarría, L. Hernández. Investigación: E.Y. Flores, E. Salabarría, L. Hernández. Visualización: E.Y. Flores, E. Salabarría, L. Hernández. Redacción-borrador original: E.Y. Flores, E. Salabarría, L. Hernández. Redacción-revisión y edición: E.Y. Flores, E. Salabarría, L. Hernández.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



El número de alertas de incendios en el mes de marzo aumenta debido a factores como son la persistencia de un clima más cálido y seco debido al cambio climático (Ariza, 2012). Los incendios forestales del oriente cubano no solo transforman un paisaje también influyen en la mala calidad del aire en varias ciudades del interior del país.

Por lo descrito anteriormente, es vital proveer de información cuantitativa y cualitativa a las entidades gubernamentales encargadas de la gestión del riesgo de desastres, para que puedan crear mecanismos de compensación y mitigación de impactos post-incendio; esto se obtiene a través de la tecnología de la percepción remota y los sistemas de información geográfica (SIG).

Desde el año 2015 se han utilizado imágenes satelitales de las misiones *Sentinel* para la detección de incendios en diferentes partes del mundo casi en tiempo real, en el marco del programa Copernicus de la Unión Europea (Fernández-Manso et al., 2016).

La misión *Sentinel 2* cuenta con las combinaciones de bandas necesarias para la aplicación de los diferentes índices que permiten la identificación de conatos y el análisis de variables como la severidad (Delegido et al., 2018). De acuerdo con Delegido et al. (2018) y el portal de las Naciones Unidas encargada de la administración de la información de Riesgos y desastres Keeley (2009) la combinación de las bandas 8A (NIR) y 12 (SWIR) con resolución espacial de 20 m pertenecientes a las imágenes *Sentinel 2*, presenta la mejor correlación para el cálculo del índice NBR.

El índice normalizado del área quemada (NBR), fue diseñado para resaltar áreas quemadas en grandes zonas de incendio y es un índice primordial para calcular la severidad del fuego que puede interpretarse como la pérdida o cambio de materia orgánica por encima y por debajo del suelo (Metallanes, 2019). El comportamiento de las masas vegetales frente al espectro electromagnético en el infrarrojo se convierte en un instrumento útil para el análisis de estudios forestales vinculados con incendios (Di Bella et al., 2008).

Otro medio empleado para detectar impactos de incendios forestales a escala global son los focos de calor, estos se definen como una anomalía térmica sobre el terreno, detectado a partir de imágenes MODIS y VIIRS que viajan sobre los satélites Terra, Aqua, Suomi-NPP y NOAA. Estos puntos de calor son en realidad aproximaciones a incendios o puntos potenciales de fuego (Sebastian et al., 2017).

En el Municipio de Mayarí, los focos de calor detectados por sensores remotos (VIIR-S) durante la etapa de seca se encuentran cercanos a zonas de Reservas Naturales de la Sociedad Civil incluidas dentro del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas, demostrando que la acción del hombre está afectando la incidencia del fuego aumentando tanto su intensidad como su frecuencia, particularmente en periodos de sequías (World Wildlife Fund (WWF), 2016).

El objetivo de la presente investigación busca identificar áreas quemadas causadas por incendios forestales ocurridos en febrero del 2023 en el municipio de Mayarí, provincia de Holguín, por medio de índices espectrales utilizando imágenes *Sentinel 2*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Parque Mensura Piloto, ubicado en Mayarí, Holguín, Cuba (20°30'N, 75°51'O), abarcando 8,486 hectáreas (Figura 1). Esta área protegida presenta características climáticas distintivas que la diferencia del medio nacional y provincial.



Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. Municipio de Mayarí dentro de la Provincia Holguín. Fuente: https://satellites.pro/mapa_de_Mayari.Region_de_Holguin.Republica_de_Cuba#A20.511927-75.758972,8

El régimen pluviométrico muestra dos picos máximos en mayo (275 mm) y septiembre (214 mm), hasta que la estación seca se extiende de noviembre a abril, mínimos con en enero y diciembre (menos de 100 mm). La precipitación anual totaliza 1,650 mm.

La temperatura media anual es de 21,6°C, con registros extremos de 6,6°C (enero 2000) y 32°C (agosto 1987). Los Alisios del Noroeste dominan durante todo el año, con velocidades de 13 km/h, generando lluvias o definiciones en la ladera de barlovento y condiciones más secas en la de sotavento. La humedad promedio promedio de 84,1% supera significativamente la media regional, caracterizando al área como una zona con condiciones climáticas húmedas (ECURED-Cuba, 2025).

Información espacio temporal de incendios y anomalías térmicas (focos de calor)

La información de ocurrencia de incendios forestales en el municipio de Mayarí, se obtuvo a través del Departamento de Manejo del Fuego del Cuerpo de Guardabosques, con cierre del 1 de marzo (Centro de Gestión de la Biosfera (CGB), 2023). Sobre el incendio de mayores proporciones, detectado el pasado 18 de febrero de 2023 en Pinares de Mayarí y que, aun cuando fue enfrentado tempranamente se propagó en menos de 24 horas por los fuertes vientos y la abundancia de plantaciones de pino cubensis, consideradas material combustible, el informe precisa que el área recorrida por las llamas abarcó 3 612 hectáreas: 2 772 ha en bosques de cubensis, casuarina y eucalipto; 4 ha de café y más de

666 ha de pastizales. Además, también se recurre a la página web de [Satellites Onfire \(2025\)](#), históricos para identificar anomalías térmicas (focos de calor) y ubicarlos en la zona de estudio para comprobar si son útiles en la detección de incendios, estos puntos son detectados por el sensor VIIRS y procesadas en la *Collection* de [Satellites Onfire \(2025\)](#), se procede a la búsqueda de estos puntos pertenecientes al mes de febrero del 2023, [Figura 2](#).

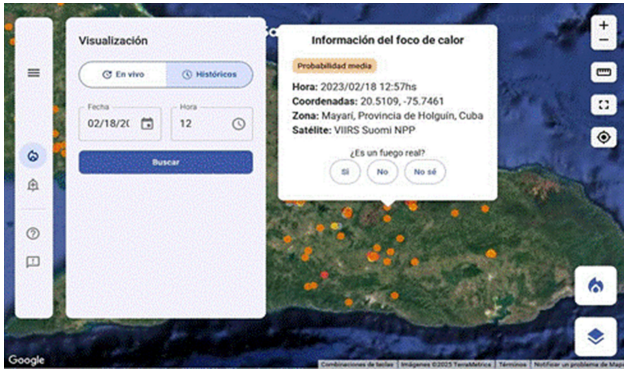


Figura 2. Anomalías Térmicas-Focos de calor. Fuente: [Satellites Onfire \(2025\)](#).

Obtención de imágenes satelitales

Para acceder a las imágenes satelitales es necesario crear una cuenta en *Browser Data Space Copernicus*, [Figura 3](#).

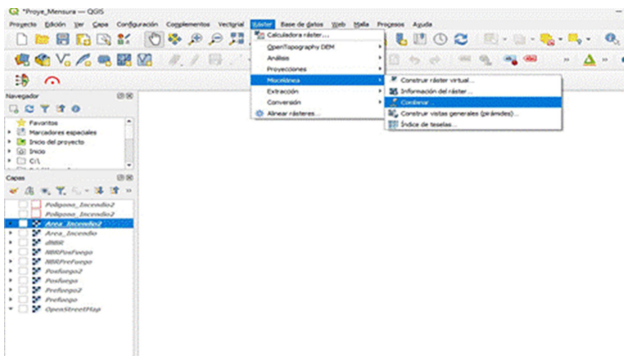


Figura 3. Interfaz de la plataforma permite establecer una serie de criterios en la búsqueda de imágenes. Fuente: [Copernicus \(2025\)](#).

Una vez registrados, la interfaz permite establecer una serie de criterios en la búsqueda de imágenes. Se necesitan dos imágenes satelitales de Sentinel-2:

- Para reflectividad de la superficie (pre-fuego)
- Y otro pos-fuego, lo más próximas en el tiempo posible y libres de nubes.

La imagen pos fuego permitirá la visualización del incendio en una composición en falso color para la digitalización del perímetro y a partir de las dos imágenes se obtendrán índices espectrales como el de severidad.

En este caso de ejemplo, cartografiaremos el incendio forestal que se produjo el día 18/02/2023 en el término municipal de Mayarí y en el Parque Nacional Mensura-Piloto.

- Podemos dibujar un polígono sobre el área donde se localiza el incendio para facilitar la búsqueda de las imágenes.
- En los criterios de búsqueda seleccionamos las fechas más próximas a la ocurrencia del incendio.
- Especificamos que sean de la misión Sentinel-2 y elegimos el producto S2MSI2A (reflectividad de la superficie corregida atmosféricamente).
- Antes de descargar la imagen, la pre visualización *Quicklook* puede ayudarnos a descartar la presencia de nubes sobre el área de interés.
- En este caso se han descargado dos imágenes satelitales, un pre-fuego con fecha de adquisición 24/01/2023 y otro pos fuego con fecha 10/03/2023.

Generación de *Layer Stack* en QGIS 3.40

Una vez tengamos descargadas las dos imágenes de Sentinel-2 debemos generar un archivo conjunto con todas las bandas, conocido en teledetección como *Layer Stack*, lo que nos permitirá realizar las composiciones en falso color que sean más adecuadas para la identificación del área quemada. Una de las composiciones en falso color más utilizada en la identificación de incendios es la *SWIR/NIR/RED*, lo que supone visualizar en el rojo el infrarrojo de onda corta (banda 12), en el verde el infrarrojo cercano (banda 8) y en el azul el rojo (banda 4).

Para generar el *layer stack* con todas las bandas de resolución 20 metros, utilizaremos la herramienta de combinar, en el apartado de Ráster de QGIS 3.40, [Figura 4](#).

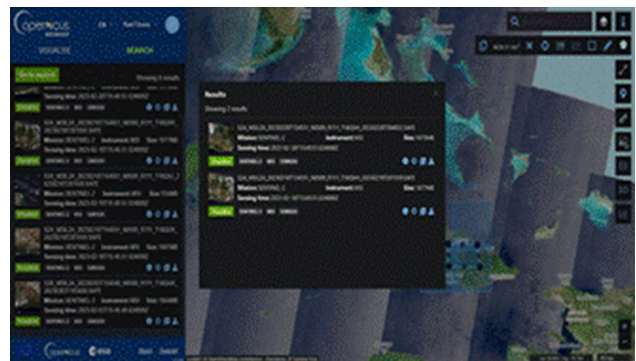


Figura 4. Generación del *Layer stack* con todas las bandas de resolución 20 metros, utilizaremos la herramienta de combinar.

En las capas de entrada seleccionamos las 9 bandas con resolución de 20 metros por orden de numeración, de tal forma que la primera banda será la 2 y la última la banda 12. La información de cada banda en los productos Sentinel-2 se encuentra en esta carpeta, [Figura 5](#).

A continuación, se muestran todas las bandas que han de incorporarse como input del *Layer Stack*, que son un total de 9 bandas con una resolución de 20 metros GSD.

Es muy importante marcar la casilla de colocar cada archivo de entrada en una banda separada, de lo contrario, el algoritmo combinará todas las bandas en una única tesela ráster. También es muy importante incorporar las bandas

ordenadas en la herramienta de combinar, de la 2 a la 12 (un total de 9 bandas). De esta forma nos aseguramos que la banda 1 del *Layer Stack* se corresponde con la banda 2 de *Sentinel* y la última banda del *Layer Stack* con la banda 12 de *Sentinel*. Este último proceso, nos permite hacer composiciones en falso color al conocer el usuario la posición de cada banda en el *Layer Stack* (Figura 6).

AUX_DATA	13/5/2022 05:14	File folder	
DATASTRIP	25/8/2022 17:45	File folder	
GRANULE	25/8/2022 17:45	File folder	
HTML	25/8/2022 17:45	File folder	
rep_info	25/8/2022 17:45	File folder	
INSPIRE.xml	13/5/2022 05:14	xmlfile	19 KB
manifest.safe	13/5/2022 05:14	SAFE File	68 KB
MTD_MSIL2A.xml	13/5/2022 05:14	xmlfile	54 KB

Figura 5. Información de cada banda en los productos Sentinel-2 en la carpeta GRANULE.

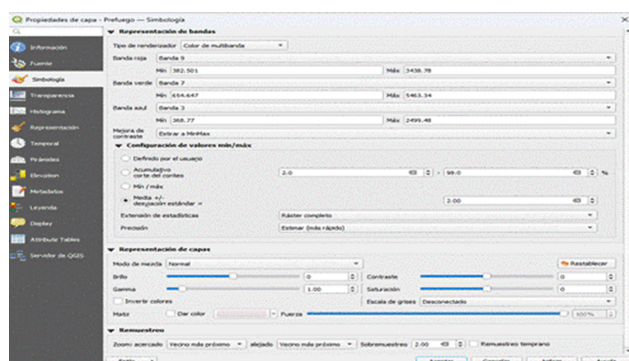


Figura 6. Composición de color *SWIR/NIR/RED*, en las propiedades de la capa.

Para una correcta visualización del archivo generado, en una composición de color *SWIR/NIR/RED*, en las propiedades de la capa, en simbología:

- Seleccionaremos color de multibanda y al cañón del rojo le asignaremos la banda 9 (banda 12 de *Sentinel-2*), al verde la banda 7 (banda 8 de *Sentinel-2*) y al azul la banda 3 (banda 4 de *Sentinel-2*).
- Configuraremos además un realce de 2 desviaciones estándar, para que se aprovechen mejor los niveles digitales en la visualización de la imagen.

El resultado de aplicar el paso anterior es el siguiente. Las zonas con presencia de vegetación vigorosa se ven verdes brillantes, y en este caso coinciden con los cultivos o áreas boscosas de Mensura-Piloto. La vegetación de zonas forestales se ve verde, pero con colores más apagados y las zonas sin vegetación o con escasa presencia de vegetación de colores rojizos o rosáceos.

Realizaremos el mismo proceso con la imagen post-fuego, estableceremos la misma composición en falso color

y digitalizaremos en pantalla el perímetro del incendio. Así es la comparativa entre las imágenes pre-fuego y post-fuego utilizando esta composición en falso color *SWIR/NIR/RED* y en las que se puede visualizar claramente el área afectada por el fuego (Figura 7).

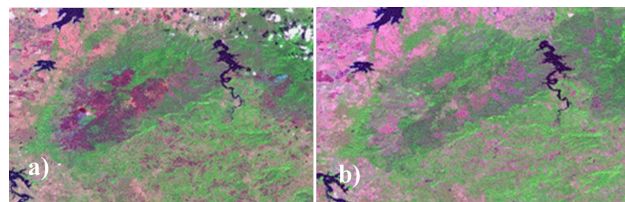


Figura 7. Comparativa entre las imágenes prefuego (a) y postfuego (b) utilizando esta composición en falso color *SWIR/NIR/RED*. Fuente: elaboración propia

Para digitalizar en pantalla el perímetro del incendio, utilizaremos la composición en falso color *SWIR/NIR/RED* con realce del histograma. El incendio se verá claramente en la imagen con tonos rojizos. Crearemos una nueva capa *GeoPackage* para la digitalización en pantalla del perímetro, Figura 8.

Será necesario cartografiar los límites del perímetro a una escala adecuada y constante. Además, es interesante la extracción de islas no quemadas para el cálculo de la superficie incendiada en hectáreas.

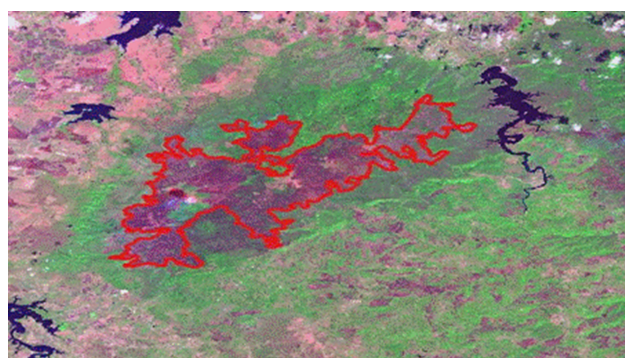


Figura 8. La imagen anterior muestra el perímetro digitalizado por parte del usuario. Fuente: elaboración propia

Cálculo de índice de Severidad del fuego (dNBR)

La severidad del fuego es un parámetro de gran interés en la evaluación de un incendio. Numerosos estudios han demostrado una relación inversa entre la severidad y la tasa de recuperación de la vegetación. De tal forma que este parámetro es útil para la planificación de actuaciones de regeneración vegetal y minimización de los daños.

Utilizaremos para ello el índice dNBR, ampliamente utilizado por la comunidad científica en la evaluación de la severidad de los incendios forestales. NBR (*Normalized Burnt Ratio*) es un índice que compara las bandas del infrarrojo de onda corta (banda 12 *Sentinel-2*) y la banda infrarroja cercana (banda 8a *Sentinel-2*), ambas de resolución espacial de 20 metros (Tecnitop S.A., 2025).

El comentado índice se basa en los cambios de reflectividad que se producen cuando la vegetación se ve afectada por el fuego. La destrucción de la estructura celular de las hojas provoca un descenso de la reflectividad en el infrarrojo cercano y un aumento de la reflectividad en el infrarrojo de onda corta por el aumento de la sequedad.

Cálculo del NBR pre en el área de estudio; utilizaremos la calculadora ráster incluyendo la siguiente expresión:

A continuación, se muestra el resultado del NBR post-fuego, que es uno de los productos previos que junto con el NBR pre-fuego hay que generar con la calculadora ráster para la obtención del índice de severidad dNBR, **Figura 9**.

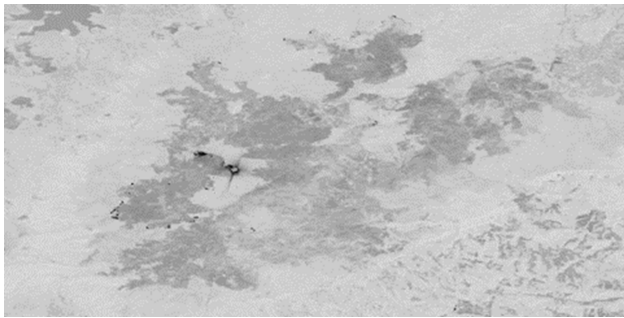


Figura 9. Resultado del NBR post-fuego. Fuente: elaboración propia

Cuando tengamos calculado tanto el NBR pre-fuego, como el NBR post-fuego, podremos calcular el dNBR que es la diferencia entre ambos, **Figura 10**.



Figura 10. Cálculo del dNBR

Debido a que únicamente interesa la información contenida dentro del perímetro del incendio, podemos extraer la información de dNBR y recortarla para que se adapte al perímetro del incendio. Esto lo haremos utilizando una herramienta que nos ofrece GDAL y

que está implementada en **QGIS (2025)**. El nombre de la herramienta es “Cortar ráster por capa de máscara”, **Figura 11**.

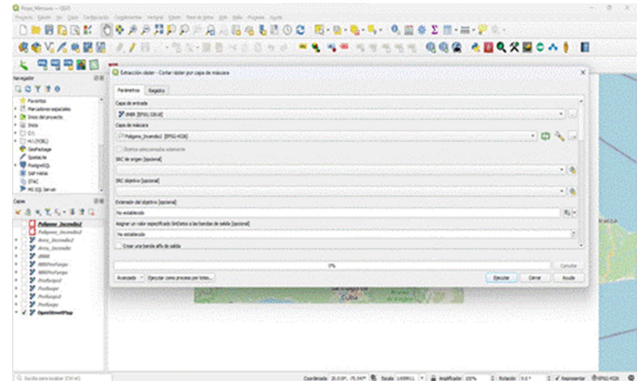


Figura 11. Herramienta que nos ofrece GDAL “Cortar ráster por capa de máscara”.

En la capa de entrada se especifica el dNBR, en la capa de máscara el perímetro del incendio, y guardamos el archivo en el directorio que deseemos. El resultado es el valor del índice dNBR, pero el que se encuentra únicamente contenido dentro de los límites del incendio.

Para clasificar la severidad utilizaremos la clasificación propuesta por los autores **Key & Benson, (2006)** en el proyecto FIREMON, **Tabla 1**.

En las propiedades de la capa, en el apartado de simbología debemos seleccionar Pseudocolor monobanda e interpolación discreta. Establecemos 5 clases y en el apartado de valor, le pondremos los umbrales de severidad de **Key & Benson (100 / 270 / 440 / 660 / Max)**. Aplicaremos una paleta de color de color rojo, con tonos más intensos cuanto mayor sea la severidad y a la primera clase que es la que se corresponde con las superficies no quemadas le pondremos un color verde, para que sea perfectamente distinguible de las superficies quemadas, **Figura 12**.

Para poder calcular las Has de cada área clasificada se necesita aplicar un orden de algoritmos en Qgis a la capa recorte del dNBR, los cuales se cita a continuación, resultados en la **Tabla 2**:

- Reclass (por tabla desde SAGA, Qgis).
- Majority (filtro para eliminar polígonos parásitos desde SAGA de Qgis)
- Poligonizer (a capa producto de Majority, desde GDAL de Qgis)
- Dissolved (resumen de cada categoría seleccionada y cálculo de extensiones)

Tabla 1. Clasificación propuesta por los autores **Key & Benson** en el proyecto FIREMON

Nivel de Severidad	Rango dNBR
No Quemada	-10 a +99
Baja Severidad	+100 a +269
Moderada Severidad	+270 a +439
Alta Severidad	+440 a +659
Máxima	+660 a +1300

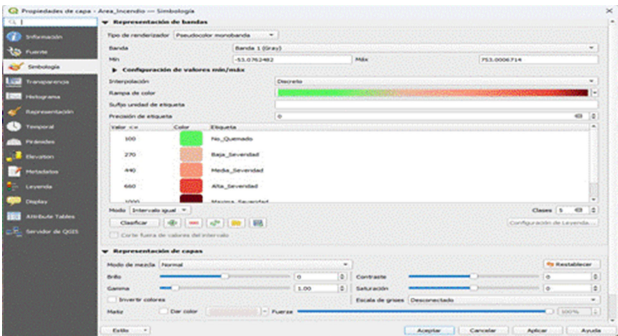


Figura 12. Umbrales de severidad de Key & Benson (100 / 270 / 440 / 660 / Max).

Tabla 2. Clasificación de las coberturas de severidad del fuego en Mensura-Piloto con sus respectivas áreas y porcentajes Fuente: elaboración propia.

SEVERIDAD	PORCENTAJE	Total (ha)
Baja Severidad	65,07	5 522,55
Media Severidad	0,24	20,57
Alta Severidad	0,17	15,25
Máxima Severidad	0,011	1
Total	65,49	5 543,12

RESULTADOS

Combinación de bandas multispectrales para identificación de incendios

Las imágenes satélite provenientes de *Sentinel* 2 permiten visualizar las zonas afectadas por el fuego a través de la combinación RGB con las bandas 12, 8A, 4. Una combinación que caracteriza a la vegetación sana por presentar colores verdes mientras las zonas afectadas por el fuego quedarán representadas por contrastes cromáticos magentas virando a colores pardos y rojizos.

También, se puede cuantificar la superficie afectada mediante análisis de geometría o realizando análisis de afección mediante indicadores como el NBR, [Figura 13](#).

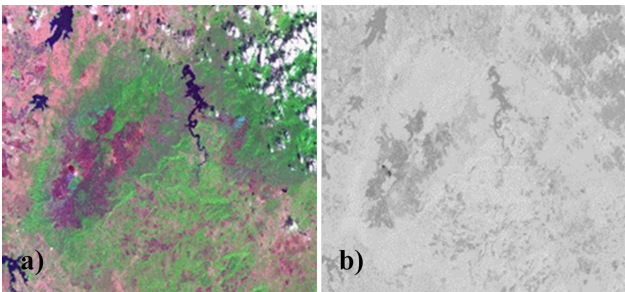


Figura 13. Imagen *Sentinel* 2 a): Combinación de Bandas espectrales para identificar incendios (SWIR1, NIR, B) (B7, B5, B3) correspondientes a Bandas *Sentinel* 2 (12,8A,4). b) *Sentinel* 2A: Resultado de cálculo del índice NBR con Bandas 5 y Banda 7 (8 A y 12) Monocromática. Fuente: elaboración propia

Severidad de áreas quemadas en el Parque Mensura-Piloto

Con la metodología expuesta en este artículo, se pueden generar cartografías de severidad para cualquier incendio forestal utilizando las imágenes de *Sentinel*-2 y QGIS. Estos mapas pueden ser de gran utilidad para la planificación de actuaciones de regeneración forestal y minimización de daños ([Figura 14](#)).

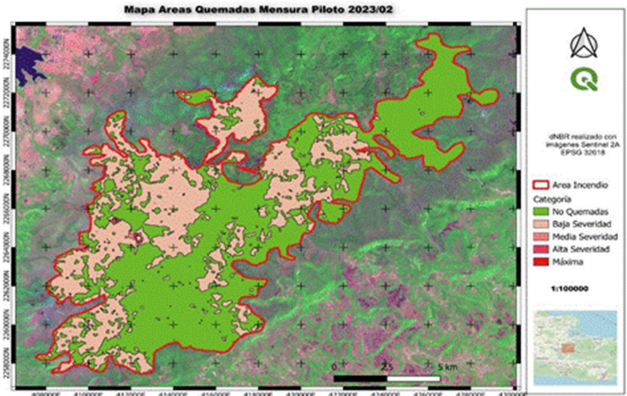


Figura 14. Mapa de Severidad del área quemada en el Parque Mensura-Piloto. Fuente: elaboración propia.

El mapa final que representa el índice de la severidad de áreas quemadas para el municipio de Mayarí, obtenido a partir de la clasificación del índice NBR, el 65,49% de las áreas corresponden a zonas quemadas con algún grado que pueden variar de gravedad.

Particularmente revisten importancia las áreas afectadas por baja y media severidad las cuales reportaron según la clasificación de los algoritmos un área de 5 543,12 ha lo cual representa cierta diferencia a las reportadas por el cuerpo de guardabosque [Centro de Gestión de la Biosfera \(CGB\) \(2023\)](#), cuya cifra reportada alcanzó alrededor de 3 612 ha, [Tabla 2](#).

Zonas de anomalía térmica

Con respecto a las zonas de Anomalía Térmica los puntos de calor del sensor se han utilizado extensamente como aproximación a la ocurrencia del fuego ([Figura 15](#)), especialmente en aquellos territorios en donde las estadísticas de incendios forestales no están disponibles ([Chuvieco et al., 2012](#)).

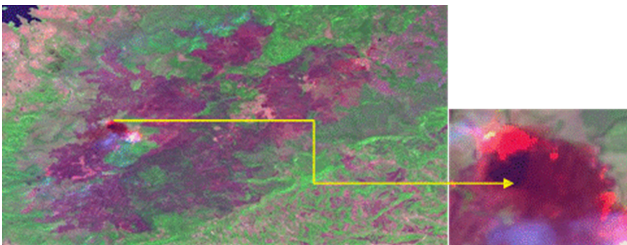


Figura 15. Puntos de calor del Sensor *VIIRS* *Suomi* *NPP*, detectados en el Parque Mensura- Piloto. Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Con la combinación de bandas espectrales, los índices con borde rojo basados en las bandas de Sentinel (B12 y B8A) mostraron la mayor idoneidad para la discriminación de la gravedad en las quemaduras o incendios forestales. Esta afirmación sobre la idoneidad de los índices basados en Sentinel B12 y B8A para la discriminación de la gravedad en quemaduras forestales se encuentra documentada en la literatura científica sobre teledetección y análisis de incendios forestales.

Los índices espectrales que combinan las bandas B12 y B8A del Sentinel-2 han sido ampliamente estudiados y validados por la comunidad científica internacional. La efectividad de estas bandas se debe a sus características específicas:

- La banda B12 (ondas cortas infrarrojas) es particularmente sensible a cambios en la superficie terrestre después de incendios
- La banda B8A (infrarrojo cercano) proporciona información crucial sobre la salud de la vegetación
- La combinación de ambas bandas permite una discriminación precisa de diferentes niveles de severidad
- Esta metodología ha sido adoptada por investigadores y organismos internacionales debido a su capacidad para:
 - Detectar cambios sutiles en la vegetación
 - Distinguir diferentes niveles de severidad en incendios
 - Proporcionar datos consistentes y reproducibles.

La investigación con imágenes satelitales de Sentinel-2, permitió evaluar la magnitud del incendio en términos de severidad y, generó información que confirma la utilidad del índice espectral NBR y dNBR para analizar mediante la reclasificación no supervisada los valores de severidad claves para el Parque Mensura-Piloto. Esta alternativa se basa en poder detectar el cambio en la reflectancia de las áreas quemadas y las áreas sin quemar, lo cual define firmas espectrales que permiten diferenciar, por ejemplo, el carbón resultante de la quema del material quemado (De Santis & Chuvieco, 2009).

Para la clasificación de las imágenes posteriores al incendio, el índice dNBR dio como resultado valores promedio de precisión para esta zona tropical. Sin embargo, la metodología, ha mostrado también buenos resultados para determinar la severidad del impacto del fuego en la vegetación de diferentes ecosistemas forestales, como bosque templado, bosques de pino y bosques boreales, por lo que se aplicó con éxito en estudios en España, China y Grecia (Fornacca et al., 2018; Heredia et al., 2003).

En la severidad de áreas quemadas, se debe tener especial atención en las zonas quemadas con gravedad baja, debido a que se pueden confundir con las zonas de pastizales de sabana debido a su escasa vegetación superficial. Existen zonas estables o sin quemar en áreas de humedad, de lo cual

se puede inferir que la protección se da naturalmente, por la dificultad que tiende a generar fuego en estas zonas.

Para las zonas de anomalía térmica; según Miller et al. (2013), el sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) del Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP)* de la NASA y NOAA tiene una resolución espacial nativa de 375 y 750 metros se considera que estos puntos de fuego son muy confiables para la detección de incendios más pequeños, en grandes áreas. Estos resultados son útiles para realizar una comparación y un análisis cualitativo de la frecuencia y la presencia de incendios.

CONCLUSIONES

- Las zonas con gravedad baja de incendios son difíciles de distinguir de pastizales de sabana debido a su similar apariencia superficial.
- SENTINEL 2 nivel 2A es una opción económica efectiva para análisis de áreas quemadas, gracias a su resolución de 20m en bandas 8A y 12, y su capacidad para diferenciar entre zonas quemadas y sombras/nubes.
- Los productos de anomalías térmicas VIIRS Suomi NPP son útiles para estudiar la distribución espacio temporal de incendios a escala regional.
- El índice NBR es especialmente efectivo para discriminar superficies afectadas por incendios forestales de otras cubiertas sin daños.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ariza, A. (2012). *Tecnologías satelitales para mapeo de susceptibilidad a incendios forestales*. https://www.un-spider.org/sites/default/files/2_Susceptibilidad_a_Incendios_AA_ONU-SPIDER_2020.pdf
- Centro de Gestión de la Biosfera (CGB). (2023). *Cuba en datos: Incendios forestales-Clima y acción humana*. <https://www.mtss.gob.cu/noticias/cuba-en-datos-incendios-forestales-clima-y-accion-humana>
- Chuvieco, E., Cifuentes, Y., Hantson, S., López, A. A., Ramo, R., & Torres, J. (2012). Comparación entre focos de calor MODIS y perímetros de área quemada en incendios mediterráneos. *Revista de Teledetección*, 37, 9-22.
- Copernicus. (2025). *Browser dataspace*. <https://browser.dataspace.copernicus.eu>
- De Santis, A., & Chuvieco, E. (2009). GeoCBI: A modified version of the Composite Burn Index for the initial assessment of the short-term burn severity from remotely sensed data. *Remote sensing of Environment*, 113(3), 554-562.
- Delegido, J., Pezzola, A., Casella, A., Winschel, C., Urrego, P., Jimenez-Munoz, J.-C., Sobrino, J., Soria, G., & Moreno, J. (2018). Estimación del grado de severidad de incendios en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, usando Sentinel-2 y su comparación con Landsat-8. *Revista de Teledetección*, 51, 47-60,

- Di Bella, C. M., Posse, G., Beget, M. E., Fischer, M. D. L. A., Mari, N., & Verón, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas*, 17(3), 1
- ECURED-Cuba. (2025). *Parque Nacional La Mensura*. Enciclopedia Cubana Digital. https://www.ecured.cu/Parque_Nacional_La_Mensura
- Fernández-Manso, A., Fernández-Manso, O., & Quintano, C. (2016). SENTINEL-2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 50, 170-175.
- Fornacca, D., Ren, G., & Xiao, W. (2018). Evaluating the best spectral indices for the detection of burn scars at several post-fire dates in a mountainous region of Northwest Yunnan, China. *Remote Sensing*, 10(8), 1196.
- Heredia, Á., Martínez, S., Quintero, E., Piñeros, W., & Chuvieco, E. (2003). Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes LANDSAT ETM+. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 3, 216-234.
- Huertas, A., Baptiste, B. L. G., Toro, M., & Huertas, H. (2019). Manejo de la quema de pastizales de sabana inundable: Una mirada del pueblo originario Sáliva en Colombia. *Chungará (Arica)*, 51(1), 167-176.
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International journal of wildland fire*, 18(1), 116-126.
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment (LA). In: Lutes, Duncan C.; Keane, Robert E.; Caratti, John F.; Key, Carl H.; Benson, Nathan C.; Sutherland, Steve; Gangi, Larry J. 2006. *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. LA-1-55, 164.
- Metallanes, R. (2019). *Lo que debes saber sobre imágenes Sentinel-2. GIS and Beers*. <http://www.gisandbeers.com/lo-deberias-saber-imagenes-sentinel-2/>
- Miller, S. D., Straka III, W., Mills, S. P., Elvidge, C. D., Lee, T. F., Solbrig, J., Walther, A., Heidinger, A. K., & Weiss, S. C. (2013). Illuminating the capabilities of the suomi national polar-orbiting partnership (NPP) visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) day/night band. *Remote Sensing*, 5(12), 6717-6766, ISSN: 2072-4292.
- Parra, A. del C., Bernal, F. H., Armenteras, D., González, F., Morales, M., Pabón, D. J., & Páramo, G. E. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*.
- QGIS. (2025). *QGIS official website*. <https://qgis.org>
- Satellites Onfire. (2025). *Satellites on fire-Historical hotspots*. <https://app.satellitesonfire.com/focos-historicos>
- Sebastian, B., González, T. M., & Armenteras, D. (2017). Dinámica espacio temporal de ocurrencia de incendios en zonas con diferentes tipos de manejo en el noroeste de la amazonia: ¿barrera efectiva? *Revista facultad de ciencias básicas*, 13(1), 19-25.
- Tecnitop S.A. (2025). *Cartografía de incendios forestales con QGIS 3.6*. <https://tecnitop.com/cartografia-de-incendios-forestales-con-qgis-3-6/>
- World Wildlife Fund (WWF). (2016). *WWF Colombia*. <https://www.wwf.org.co>